

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU  
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG  
DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA · PROF. DR.-ING. F. S. ROSTASY

Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Leichtbetonen  
mit Betonzusatzstoffen anstelle von Natursand

Bericht erstattet  
von

Dipl.-Phys. Klaus Paulmann  
Dr.-Ing. Joachim Steinert

1976

Die Untersuchungen wurden im Auftrag des Niedersächsischen Kultusministers  
durchgeführt.

Az.: B V 4 e - 10/75

Postsendungen:  
Boethovenstraße 52, 3300 Braunschweig  
Erfüllungsort und Gerichtsstand Braunschweig

Fernsprecher: (05 31) 391 22 81

Fernschreiber: 9 52 698 lbstb d

Zur Vermeidung von Verzögerungen wird dringend gebeten, Zuschriften nur an das Institut zu richten, nicht aber an einzelne Mitarbeiter.

## 1. Allgemeines

In den Jahren 1970/71 am Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig durchgeführte Untersuchungen an 12 Leichtbetonen verschiedener Zusammensetzung, jedoch unter ausschließlicher Verwendung von Blähschiefer-Leichtzuschlägen /1/, hatten ergeben, daß zwischen Trockenrohddichte und Wärmeleitzahl ein statistisch gesicherter linearer Zusammenhang besteht, unabhängig von Mischungsparametern wie Leichtzuschlaganteil, Größtkorn, Anteil der verschiedenen Korngruppen und Zuschlagsherkunft.

Allerdings fielen die damals geprüften Leichtbetone mit einer Ausnahme in die einzige Rohdichteklasse 1,6:  $1,41 \text{ kg/dm}^3 \leq \rho_{tr} \leq 1,60 \text{ kg/dm}^3$ , die Wärmeleitzahlen variierten im Bereich  $0,44 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C} \leq \lambda_{10,tr} \leq 0,56 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$ .

In einem neuen Forschungsvorhaben, über das hier berichtet wird, wurde der Einfluß amorpher Zusatzstoffe wie Hüttenbims, Kesselschlackengranulat und Filterasche - für den unbedingt erforderlichen Kornanteil 0/0,25 mm anstelle von Quarzsand - auf die Wärmeleitfähigkeit untersucht; dabei wurde der Bereich der Rohdichten und Wärmeleitfähigkeiten wesentlich erweitert ( $1,08 \text{ kg/dm}^3 \leq \rho_{tr} \leq 1,87 \text{ kg/dm}^3$ ,  $0,28 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C} \leq \lambda_{10,tr} \leq 0,58 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$ ).

Es wurde erwartet, eine Reihe besonders gut wärmedämmender, praxisgerechter Leichtbetone aufzufinden und damit einen wirksamen Beitrag zur wirtschaftlichen Gestaltung des Bauens zu leisten; aus diesem Grunde war die Kennzeichnung der Betone auch durch ihre Druckfestigkeit erforderlich.

Das Vorhaben wurde wesentlich durch die Unterstützung der Transportbeton-Beratungs-GmbH, 4030 Ratingen, einer Tochtergesellschaft der Fa. "Readymix", gefördert. Die Transportbeton-Beratungs-GmbH hat nicht nur die kostenlose Herstellung, Anlieferung und Prüfung der Druckfestigkeit zahlreicher Probekörper in ihrer amtlich anerkannten Prüfstelle durchgeführt, sondern auch durch Bereitstellung der Mischungsentwürfe die Verbreitung der hier angegebenen druckfesten und zugleich wärmedämmenden Betone ermöglicht. Hierfür sei der Transportbeton-Beratungs-GmbH an dieser Stelle gedankt. Die Auswahl der einzelnen Leichtbetone im Hinblick auf das Forschungsziel sowie die Prüfung und Beurteilung der Wärmeleitfähigkeit erfolgte im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der TU Braunschweig.

## 2. Versuchsdurchführung

Die 26 untersuchten - von insgesamt 40 hergestellten bzw. angelieferten - Betonmischungen, deren Zusammensetzungen in Anlage 1 und 2 angegeben sind, wurden, wie oben erwähnt, im Betonlabor der Transportbeton-Beratungs-GmbH hergestellt, wobei es sich, bis auf einige Mörtel mit amorphen Zusatzstoffen, die zur Abrundung des Programms geprüft werden sollten, um für den Transport in Fahr-  
mischern geeignete Leichtbetone handelt. Die Leichtzuschläge und Zusatzstoffe stammen von verschiedenen Lieferfirmen, und die Mischungen unterscheiden sich in ihrem Aufbau, z.T. bedingt durch die Verwendung bestimmter Zusatzstoffe und die Einhaltung einer vorgegebenen Konsistenz.

Die Ermittlung der Druckfestigkeiten  $\beta_{w28}$  erfolgte in Ratings an Würfeln von 20 cm Kantenlänge nach 28tägiger Lagerung im Normklima.

Im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der TU Braunschweig wurden die Trockenrohdichten nach Trocknung bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz und die Wärmeleitzahlen an 25 mm dicken Platten von 150 mm Durchmesser nach dem Einplattenverfahren gemäß DIN 52 612 bestimmt.

## 3. Versuchsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse sind in Anlage 3 zahlenmäßig zusammengefaßt, und in den Anlagen 6 bis 9 ist die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{10, tr}$  in Abhängigkeit von der Rohdichte  $\rho_{tr}$  bzw. der Druckfestigkeit  $\beta_{w28}$  grafisch dargestellt.

### 3.1. Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit

Entsprechend der Themenstellung dieser Untersuchung lassen sich die geprüften Betone auf Grund ihrer Zusammensetzung (s. Anlage 1 und 2) in folgende Gruppen einordnen.

		mit Quarzsand	ohne Quarzsand
Volumen- anteil amorpher Zusatz- stoffe	= 0	Gruppe 1.1.: keine	Gruppe 1.2.: 1.2.1 - 5
	< 10 %	Gruppe 2.1.: 2.1.1 - 3	Gruppe 2.2.: 2.2.1 - 11
	≥ 10 %	Gruppe 3.1.: keine	Gruppe 3.2.: 3.2.1 - 7

Tabelle 1: Gruppeneinteilung und Anzahl der geprüften Betonmischungen

Über den Einfluß des Quarzsandgehaltes auf die Wärmeleitfähigkeit von Leichtbetonen ohne amorphe Zusatzstoffe liegen bereits umfassende Untersuchungen vor /2/3/4/; hingegen besteht für Betonmischungen, die außer Quarzsand auch größere Mengen an amorphen Zusatzstoffen enthalten, nicht zuletzt wegen des dabei zu groß werdenden Mehlkornanteils kein baupraktisches Interesse: die entsprechenden Gruppen 1.1. und 3.1. sind daher hier nicht vertreten.

In der Gruppe 1.2. - Betone ohne Quarzsand und ohne amorphe Zusatzstoffe - enthalten die Mischungen 1.2.3 und 1.2.4 ausschließlich Blähschiefer-Leichtzuschläge, während bei 1.2.1 und 1.2.2 ausschließlich bzw. weit überwiegend Blähton-Leichtzuschläge verwendet wurden. Es liegt nahe, die an diesen Betonen gemessenen Werte der Wärmeleitfähigkeit und Trockenrohdichte auf ihre Korrelation mit entsprechenden Messungen anderer Autoren /2/3/4/ zu untersuchen. Die Ergebnisse von /1/ wurden in diese Überprüfung mit einbezogen, weil der dort festgestellte straff lineare Zusammenhang zwischen Wärmeleitzahl und Rohdichte trotz unterschiedlicher Quarzsandanteile - zwischen 3,5 und 6,3 Vol.-% - vermuten läßt, daß der Volumenanteil bestimmter Zuschlagstoffe diese Werte deutlich überschreiten muß, um Rohdichte und/oder Wärmeleitzahl nachweisbar zu beeinflussen.

Damit ergeben sich die in den Anlagen 3 (Blähschieferbetone) und 4 (Blähtonbetone) zusammengestellten Meßwerte als Stichproben vom Umfang  $n = 17$  bzw.  $n = 10$ . Eine lineare Regressionsanalyse dieser beiden Stichproben liefert die in Tabelle 2 aufgeführten statistischen Maßzahlen. In den Anlagen 6 und 7 sind zusammen mit den Meßwerten die Regressionsgeraden sowie die Vertrauensbereiche des Mittelwertes für die statistischen Sicherheiten  $S = 95\%$  und  $S = 99\%$  aufgetragen; innerhalb dieser Bereiche werden die der jeweiligen Grundgesamtheit - Blähschiefer- bzw. Blähtonbetone - entsprechenden Regressionsgeraden mit den o.g. Sicherheiten liegen.

Tabelle 2 siehe Blatt 5

Regressionsgerade  $\lambda_{10, \text{tr}} = a + b \cdot \rho_{\text{tr}}$

Einheiten  $\lambda_{10, \text{tr}} : \text{kcal/m h } ^\circ\text{C}$

$\rho_{\text{tr}} : \text{kg/dm}^3$

$a : \text{kcal/m h } ^\circ\text{C}$

$b : \text{dm}^3 \text{ kcal/kg m h } ^\circ\text{C}$

	Blähschiefer- betone	Blähton- betone	
Achsenabschnitt a	-0,182	-0,132	
Steigung b	0,459	0,391	
Vertrauensgrenzen des Achsenabschnitts $d_a$ der Steigung $d_b$	0,058 0,041	0,080 0,067	für eine statistische Sicherheit von S = 95 %
Korrelations- koeffizient r	0,987	0,979	

Tabelle 2: Statistische Maßzahlen für die in den Anlagen 3 und 4 aufgeführten Messungen an Blähschiefer- und Blähtonbetonen

Die Korrelationskoeffizienten  $r_{\text{BS}} = 0,987$ ,  $r_{\text{BT}} = 0,979$  entsprechen einer statistischen Sicherheit von mehr als S = 99,9 %, in beiden Fällen kann also der lineare Zusammenhang zwischen Wärmeleitfähigkeit und Trockenrohdichte - unabhängig von irgendwelchen Mischungsparametern - als streng gesichert gelten, bei Blähschieferbetonen sogar in einem Rohdichtebereich von ca.  $1,15 \text{ kg/dm}^3$  bis ca.  $1,60 \text{ kg/dm}^3$ .

Damit ist einerseits die Aufnahme der Meßwerte aus /1/ in die Stichprobe, trotz eines Quarzsandanteils bis zu 6,3 Vol.-%, nachträglich gerechtfertigt, zum anderen ist nachgewiesen, daß sich die mit dem Einplattengerät im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau in Braunschweig ermittelten Werte in die an anderen Stellen mit anderen Geräten und Verfahren gemessenen Ergebnisse einfügen.

Zur Gegenüberstellung von Leichtbetonen mit und ohne Gehalt an amorphen Zusatzstoffen sind in Anlage 8 die beiden Regressionsgeraden samt Vertrauensbereichen für eine statistische Sicherheit von  $S = 95\%$  zusammen mit den an den Betonmischungen der Gruppen 2 und 3 (s. Anlage 1) ermittelten Meßwerten in ein gemeinsames  $\lambda_{10, \text{tr}} - \rho_{\text{tr}}$ -Diagramm eingetragen; es zeigt sich, daß

1. von den drei Betonen mit Quarzsandzusatz - Gruppe 2.1. - zwei deutlich außerhalb des Vertrauensbereiches der Regressionsgeraden für Blähschieferbetone liegen, in Richtung auf eine höhere Wärmeleitfähigkeit,
2. bei Betonen ohne Quarzsand und mit einem Gehalt an amorphen Zusatzstoffen  $< 10 \text{ Vol.}\%$  bei niedrigen Trockenrohdichten ( $1,15 \text{ kg/dm}^3 < \rho_{\text{tr}} < 1,3 \text{ kg/dm}^3$ ) die Wärmeleitfähigkeiten "reiner" Blähschiefer- und Blähtonbetone gleicher Rohdichte deutlich unterschritten werden, während bei größeren Trockenrohdichten ( $\rho \geq 1,35 \text{ kg/dm}^3$ ) ein solcher Unterschied nicht festzustellen ist,
3. die Betone mit hohem Gehalt an amorphen Zusatzstoffen (21 bis 32 Vol.-%) ausnahmslos und im gesamten hier untersuchten Rohdichtebereich von  $1,34 \text{ kg/dm}^3$  bis  $1,87 \text{ kg/dm}^3$  Wärmeleitzahlen aufweisen, die deutlich unterhalb der Vertrauensgrenzen vergleichbarer "reiner" Blähschiefer- und Blähtonbetone liegen. Dabei scheinen Kesselschlackengranulat, Hüttenbims und Filterasche die Wärmeleitfähigkeit in etwa gleicher Weise zu beeinflussen, vgl. die Mischungen 3.2.5 - 7, während bei den Druckfestigkeiten deutliche Unterschiede auftreten (s. Abschnitt 3.2. und Anlage 9).

Zusätzlich eingezeichnet sind in Anlage 8 die in Tabelle 3 zusammengestellten fünf Wertepaare  $\lambda_{10, \text{tr}}, \rho_{\text{tr}}$  aus einer Untersuchung an Hüttenbimsbetonen mit Zusatz von CEWILITH<sup>+) /5/</sup>. Offensichtlich sind unter alleiniger Verwendung dieser Zuschlagstoffe noch niedrigere Wärmeleitzahlen in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte erreichbar, allerdings mit Einbußen hinsichtlich der Druckfestigkeiten, s.u.

---

<sup>+) Firmenbezeichnung für Kesselschlackengranulat</sup>

Bezeichnung des Betons	Wärmeleit- fähigkeit $\lambda_{10, tr}$ kcal/m h °C	Trocken- rohddichte $\rho_{tr}$ kg/dm <sup>3</sup>	28-Tage-Würfel- druckfestigkeit $\beta_{w28}$ kp/cm <sup>2</sup>
Ec - a	0,36	1,50	94
Fc - a	0,39	1,64	116
Ec	0,46	1,75	243
Fc	0,49	1,80	204
Dc	0,52	1,92	223

Tabelle 3: Wärmeleitfähigkeit, Trockenrohddichte und Druckfestigkeit von fünf Hüttenbims-Betonen mit Zusatz von CEWILITH /5/

### 3.2. Druckfestigkeit (28-Tage-Würfelfestigkeit)

Die 28-Tage-Würfeldruckfestigkeiten der hier untersuchten Leichtbetone sind in Anlage 3 zusammengestellt; eine Auftragung der Wärmeleitfähigkeit über der 28-Tage-Festigkeit, in die auch die fünf oben genannten Hüttenbims-Betone mit Zusatz von CEWILITH aufgenommen wurden, enthält Anlage 9.

Es zeigt sich, daß die Meßwerte vieler Mischungen mit guter Genauigkeit auf einer Geraden liegen, während in anderen Fällen erhebliche Abweichungen auftreten. Da bei freier Wahl der Leichtzuschlagstoffe ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und Rohddichte nicht besteht, kann ein derartiger Zusammenhang auch nicht zwischen Wärmeleitfähigkeit und Druckfestigkeit erwartet werden. In dieser Richtung weiterführende Untersuchungen erscheinen daher kaum sinnvoll.

Mit einer Ausnahme (3.2.7) weisen sämtliche hier gefundenen Betonmischungen relativ geringer Wärmeleitfähigkeit (Betone der Gruppe 3.2. und Mischungen 3 - 5 aus Gruppe 2.2.) vergleichsweise normale oder sogar hohe Druckfestigkeiten auf; demgegenüber erreichen alle fünf Hüttenbims-Betone mit CEWILITH-Zusatz nur etwa halb so große Druckfestigkeiten wie andere Betone vergleichbarer Wärmeleitfähigkeit.

#### 4. Wärmeleitfähigkeit der Betone in Abhängigkeit von den Wärmeleitfähigkeiten der Mischungsbestandteile

Analog zur Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit von Schüttungen als Funktion der Wärmeleitfähigkeiten von fester (Korn) und gasförmiger (Luft) Phase /6/ wurde versucht, die hier gemessenen Wärmeleitzahlen von Leichtbetonen unter Zugrundelegung der Mischungsrezepte rechnerisch zu bestätigen. Die dabei erreichbaren Genauigkeiten liegen zwar innerhalb der von /6/ in Anspruch genommenen Grenzen von  $\pm 30\%$ , das ist jedoch im vorliegenden Fall völlig unzureichend, weil damit die Prognosefehler größer als die durch gezielten Mischungsaufbau günstigenfalls erreichbaren Verminderungen der Wärmeleitfähigkeit werden können. Andererseits spricht die für bestimmte Arten von Leichtzuschlägen, unabhängig von irgendwelchen anderen Mischungsparametern, bestehende lineare Abhängigkeit zwischen Wärmeleitzahl und Rohdichte gegen eine Berechenbarkeit der Wärmeleitfähigkeit aus der Betonrezeptur.

#### 5. Schlußfolgerungen

Insgesamt können aus den Versuchsergebnissen folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Bei Betonen, die ausschließlich Blähton- bzw. Blähschiefer-Leichtzuschläge enthalten, gilt mit großer statistischer Sicherheit ein linearer Zusammenhang zwischen Wärmeleitfähigkeit und Trockenrohddichte, unabhängig von individuellen Mischungsparametern.
2. Bei Betonen kleiner Rohdichte ( $\leq 1,3 \text{ kg/dm}^3$ ) wurden bei relativ geringem Gehalt an amorphen Zusatzstoffen ( $\leq 6,3 \text{ Vol.-%}$ ) deutlich verminderte Wärmeleitfähigkeiten gemessen, während bei höheren Rohdichten weder ein vergleichbarer Anteil an Quarzsand noch an amorphen Substanzen eine signifikante Änderung der Wärmeleitzahl verursachte.
3. Bei Zugabe von etwa 20 - 30 Vol.-% amorpher Zusatzstoffe ist eine Abnahme der Wärmeleitfähigkeit gegenüber reinen Blähton- bzw. Blähschieferbetonen gleicher Rohdichte um 10 - 25 % eindeutig nachweisbar. Dabei sind etwa doppelt so hohe 28-Tage-Würfeldruckfestigkeiten erreichbar wie mit Betonen,



die ausschließlich Hüttenbims- und CEWILITH-Zuschläge enthalten; das dürfte für die Baupraxis von größerer Bedeutung sein als die geringfügig günstigere Wärmeleitfähigkeit-Rohdichte-Relation dieser Betone. Mit den in Anlage 1 besonders herausgehobenen Mischungen 2.2.3 - 5 und 3.2.1 - 4 stehen also baupraktisch nutzbare Leichtbetone mit deutlich verminderter Wärmeleitfähigkeit zur Verfügung.

4. Die Gegenüberstellung der gemessenen Wärmeleitfähigkeiten und der Rechenwerte laut Einführungserlaß zur DIN 4108 in Anlage 3 zeigt, daß bei Betonen mit mehr als 20 Vol.-% amorpher Zusatzstoffe auch die niedrigeren Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit - zugelassen bei Verwendung von Blähton und Blähschiefer ohne Natursand und Herstellung und Überwachung nach den Bedingungen für Beton BII - noch große Sicherheitsreserven enthalten: bei den sieben untersuchten Betonen der Gruppe 3 ist  $\lambda_z$  um mindestens 18 % kleiner als  $\lambda_R$ .
5. Auf Grund der bisher veröffentlichten Ergebnisse (s. Literaturverzeichnis) dürfte die untere Grenze des derzeit mit Leichtbetonen erreichbaren Gebietes im  $\lambda_{10, tr} - \rho_{tr}$ -Diagramm für  $\rho > 1,1 \text{ kg/dm}^3$  näherungsweise durch die Verbindungslinie der Punkte  $\rho = 1,1/\lambda = 0,28$ ,  $\rho = 1,65/\lambda = 0,38$ ,  $\rho = 1,9/\lambda = 0,50$  ( $\rho$  in  $\text{kg/dm}^3$ ,  $\lambda$  in  $\text{kcal/m h } ^\circ\text{C}$ ) gegeben sein (schraffierter Linienzug in Anlage 8).

Braunschweig, den 28. Januar 1977

## L i t e r a t u r

- /1/ Steinert, J.: Untersuchungen der Wärmeleitfähigkeit von Konstruktions-Stahlleichtbeton  
Abschlußbericht zum gleichnamigen Forschungsauftrag 1970  
Die Wärmeleitfähigkeit von Konstruktions-leichtbetonen mit Blähschiefer-Zuschlägen  
Betonwerk + Fertigteil - Technik Heft 10/1972, S. 726 - 730
- /2/ Schüle, W. und Kupke, C.: Wärmeleitfähigkeit von Blähton-Betonen ohne und mit Quarzsandzusatz  
Berichte aus der Bauforschung Heft 77/1972, S. 15 - 24
- /3/ Cammerer, W.F. und Achtziger, J.: Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit von Stahl-leichtbeton  
Berichte aus der Bauforschung Heft 77/1972, S. 25 - 29
- /4/ Schüle, W.: Untersuchungen über die Wärmeleitfähigkeit von Leichtbetonen ohne und mit Quarzsandzu-satz  
Abschlußbericht zum gleichnamigen Forschungs-auftrag 1975
- /5/ Schüle, W., Greulich, H. und Giesecke, M.: Wärmeleitfähigkeit von Hüttenbimsbeton  
Abschlußbericht zum gleichnamigen Forschungs-auftrag 1974  
Gesundheits-Ingenieur 96 (1975) H. 4, S. 97 - 101
- /6/ Zehner, P. und Schlünder, E.U.: Wärmeleitfähigkeit von Schüttungen bei mäßigen Temperaturen  
Chemie-Ing.-Technik 42. Jahrgang 1970 Nr. 14, S. 933 - 941
- Weigler, H. und Nicolay, J.: Temperaturdehn- und Wärmeleitzahlen von gefügedichtem Leichtbeton  
Beton 11/73, S. 486 - 490

Gruppe (nach Tabelle 1)		1.2.					2.1.			2.2.											3.2.							
Mischung Nr.		1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	
Betonfestigkeitsklasse	LBN	150	100	150	150	150	150	250	350	-	150	150	150	150	150	250	350	250	150	350	100	150	150	250	450	350	350	
Betonrohdichteklasse		1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,4	1,6	1,6	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,4	1,6	1,6	1,6	1,8	2,0	2,0	
Konsistenzbereich	K	2 - 3	2	2	2	2	2 - 3	3	2		2	2	3	2 - 3	2	2	3	2	3		2	2	2	2 - 3				
Zementart		PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	HOZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	HOZ	PZ	HOZ	PZ	HOZ	PZ	HOZ	HOZ	HOZ	PZ	PZ	PZ	PZ	
Zementfestigkeitsklasse		350 F	350 F	450 F	450 F	450 F	450 L	350 F	450 F	350 F	450 F	350 F	350 F	350 F	450 L	450 F	450 L	450 F	350 L	350 F	450 L	450 L	450 L	350 F	350 F	350 F	350 F	
Einsatzstoffe (trocken) je m <sup>3</sup> verdichteten Betons, kg/m <sup>3</sup>	Zement	450	450	370	400	400	330	340	380	370	300	350	320	300	330	330	380	380	390	1158	330	350	320	400	860	896	905	
	Rheinsand 0/2	-	-	-	-	-	575	330	460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	amorphe Zusatzstoffe	Filterasche WDI 14	-	-	-	-	-	-	-	100	-	50	-	-	150	-	100	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Filterasche WDI 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	223	-	-	-	-	617	-	-
		Filterasche WDI 55	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	40	100	100	-	-	-	-
		Filterasche HIB 30	-	-	-	-	-	-	40	-	100	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-
		Filterasche EFA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Kesselschlacke 0/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	-	560	-	-	499	-	-	745
		Hüttenbims 0/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	455	495	-	-	520	-
		Trass	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bläh- schiefer	Berwilit 0/4	-	112	397	325	309	-	240	150	-	324	-	-	294	483	408	433	467	350	-	-	-	-	147	-	-	-
		Agral 450 4/10	-	-	335	-	-	417	-	-	-	430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	418	370	-	-	-	-	-
		Agral 650 4/10	-	-	-	-	-	-	-	392	-	-	-	-	-	393	-	-	392	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Berwilit 8/16	-	-	-	378	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	295	-	-	-
	Blähton	Leca	380	283	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Liapor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	372	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Reba l	-	-	-	-	-	-	-	-	300	-	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Reba l	-	-	-	-	-	-	-	-	70	-	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Korlin B	-	-	-	-	394	-	-	-	-	-	-	-	-	-	420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Korlin B	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	415	-	-	-	89	-	-	-	-
		Korlin B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	396	-	-	-	-	412	-	-	-	-	
		Leca	310	308	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	268	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Liapor 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	288	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Reba l	-	-	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Reba hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	375	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Luftporengehalt Vol.-%		-1)	-1)	11,0	11,2	11,5	5,0	-1)	-1)	-1)	6,6	-1)	-1)	-1)	-1)	-1)	-1)	-1)	-1)	-1)	7,0	-1)	5,4	-1)	-1)	-1)
	wirksamer Wasserzementwert		0,40	0,40	0,43	0,43	0,43	0,52	0,71	0,50	0,50	0,50	0,56	0,68	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,64	0,45	0,52	0,51	0,50	0,61	0,53	0,45	0,45
	Frischrohdichte kg/dm <sup>3</sup>		1,370	1,350	1,349	1,314	1,349	1,606	1,751	1,755	1,280	1,399	1,465	1,500	1,443	1,568	1,518	1,592	1,643	1,691	1,904	1,588	1,612	1,622	1,750	1,883	1,818	2,056
Bemerkungen										2)		2), 4)	4)	4)						3)	4)	4)	4)	4)	3)	3)	3)	

Anlage 1: Zusammensetzung der geprüften Leichtbetone

Anmerkungen:

- 1) kein Luftporenbildner zugegeben; Porengehalt nicht bestimmt
- 2) Rezeptur für Sichtbeton nicht geeignet
- 3) Mörtel mit amorphen Zusatzstoffen
- 4) Leichtbeton mit relativ geringer Wärmeleitfähigkeit und normaler bis vergleichsweise hoher Druckfestigkeit

Gruppe		1.2.					2.1.			2.2.											3.2.						
Mischung Nr.		1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7
Anteile der Einsatzstoffe in Vol.-%	Zement	15	15	12	13	13	11	11	12	12	9,7	11	10	10	11	11	13	12	13	37	11	12	11	13	28	29	29
	Rheinsand	-	-	-	-	-	21	13	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	amorphe Zusatzstoffe	-	-	-	-	-	1,7	1,6	4,2	4,0	2,0	2,8	5,0	6,3	4,2	4,2	4,0	2,9	7,3	9,3	22	29	32	21	26	29	29
	Blähschiefer	-	6,8	60	56	19	44	15	45	-	66	-	-	18	64	25	26	64	21	-	43	40	-	35	-	-	-
	Blähton	70	61	-	-	36	-	36	-	64	-	64	60	47	-	38	36	-	38	-	-	-	38	8,0	-	-	-

Anlage 2: Anteile der Einsatzstoffe in Vol.-%

Probenbe- zeichnung	Trocken- roh- dichte	Roh- dichte- klasse	Wärmeleitfähigkeit					Würfeldruck- festigkeit	
			$\lambda_{10, tr}$		$\lambda_Z^{1)}$	$\lambda_R^{2)}$	$\lambda_R^{3)}$	$B_{w28}$	
Gruppe	Mischung	$\rho_{tr}$	$\frac{kcal}{mh^\circ C}$	$\frac{W}{mK}$	$\frac{kcal}{mh^\circ C}$	$\frac{kcal}{mh^\circ C}$	$\frac{kcal}{mh^\circ C}$	$\frac{kp}{cm^2}$	$\frac{N}{mm^2}$
1.2.	1	1,086	1,2	0,278	0,323	0,364	0,38	273	26,8
	2	1,117		0,314	0,365	0,406		173	17,0
	3	1,159		0,341	0,397	0,436		212	20,8
	4	1,166		0,348	0,405	0,444		211	20,7
	5	1,187		0,370	0,430	0,468		220	21,6
2.1.	1	1,374	1,4	0,462	0,537	0,563	0,62	209	20,5
	2	1,517	1,6	0,441	0,513	0,542	0,75	368	36,1
	3	1,565		0,580	0,675	0,696	0,75	473	46,4
2.2.	1	1,150	1,2	0,294	0,342	0,383	0,51	-	-
	2	1,204	1,4	0,358	0,416	0,455	0,48	224	22,0
	3	1,220		0,308	0,358	0,399		221	21,7
	4	1,276		0,308	0,358	0,399		240	23,5
	5	1,284		0,338	0,393	0,433		211	20,7
	6	1,354		0,412	0,479	0,513		296	29,0
	7	1,368	1,6	0,439	0,511	0,540	0,53	338	33,1
	8	1,395		0,439	0,511	0,540		429	42,1
	9	1,442		0,467	0,543	0,568		399	39,1
	10	1,469		0,456	0,530	0,557		284	27,9
	11	1,657		0,498	0,579	0,598		447	43,8
3.2.	1	1,344	1,4	0,340	0,395	0,435	0,62	195	19,1
	2	1,414	1,6	0,364	0,423	0,462	0,58	253	24,8
	3	1,426		0,376	0,437	0,475		263	25,8
	4	1,584		0,409	0,476	0,509		310	30,4
	5	1,799	1,8	0,515	0,599	0,618	0,85	587	57,6
	6	1,844	2,0	0,522	0,607	0,626	1,00	470	46,1
	7	1,867		0,546	0,635	0,655	1,00	400	39,2

- 1) Zuschläge nach DIN 52 612 Blatt 2, Fassung März 1973
- 2) Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit laut Einführungserlaß zur DIN 4108 (MBI. NW. 1973, S. 1827); keine besondere Anforderung an die Zuschlagart
- 3) Diese Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit dürfen laut Einführungserlaß zur DIN 4108 in Anspruch genommen werden, wenn als Zuschlag Blähton und Blähschiefer ohne Natursandzusatz verwendet werden und der Beton entsprechend den für Beton BII geltenden Bestimmungen der DIN 1045 hergestellt und überwacht wird.

Anlage 3: Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse

Probenbe- zeichnung	Trocken- rohdichte $\rho_{tr}$	Wärmeleit- fähigkeit $\lambda_{10,tr}$	Quarzsand- gehalt	Quelle
	$\frac{kg}{dm^3}$	$\frac{kcal}{m \cdot h \cdot ^\circ C}$	Vol.-%	
E 11	1,560	0,511	4,3	eigene Messungen 1971 Steinert /1/
E 12	1,439	0,477	5,3	
E 13	1,404	0,457	5,5	
B 15	1,594	0,556	6,2	
B 16	1,526	0,513	4,9	
B 17	1,445	0,475	3,5	
B 25	1,476	0,498	6,2	
B 26	1,464	0,500	5,0	
B 27	1,380	0,444	3,7	
N 35	1,593	0,560	6,3	
N 36	1,572	0,531	5,0	
N 37	1,467	0,516	3,7	
A 0	1,235	0,385	-	fremde Messungen 1975 Schüle /4/
B 0	1,200	0,38	-	
C 0	1,295	0,42	-	
1.2.3.	1,159	0,341	-	eigene Messungen 1975/76
1.2.4.	1,166	0,348	-	

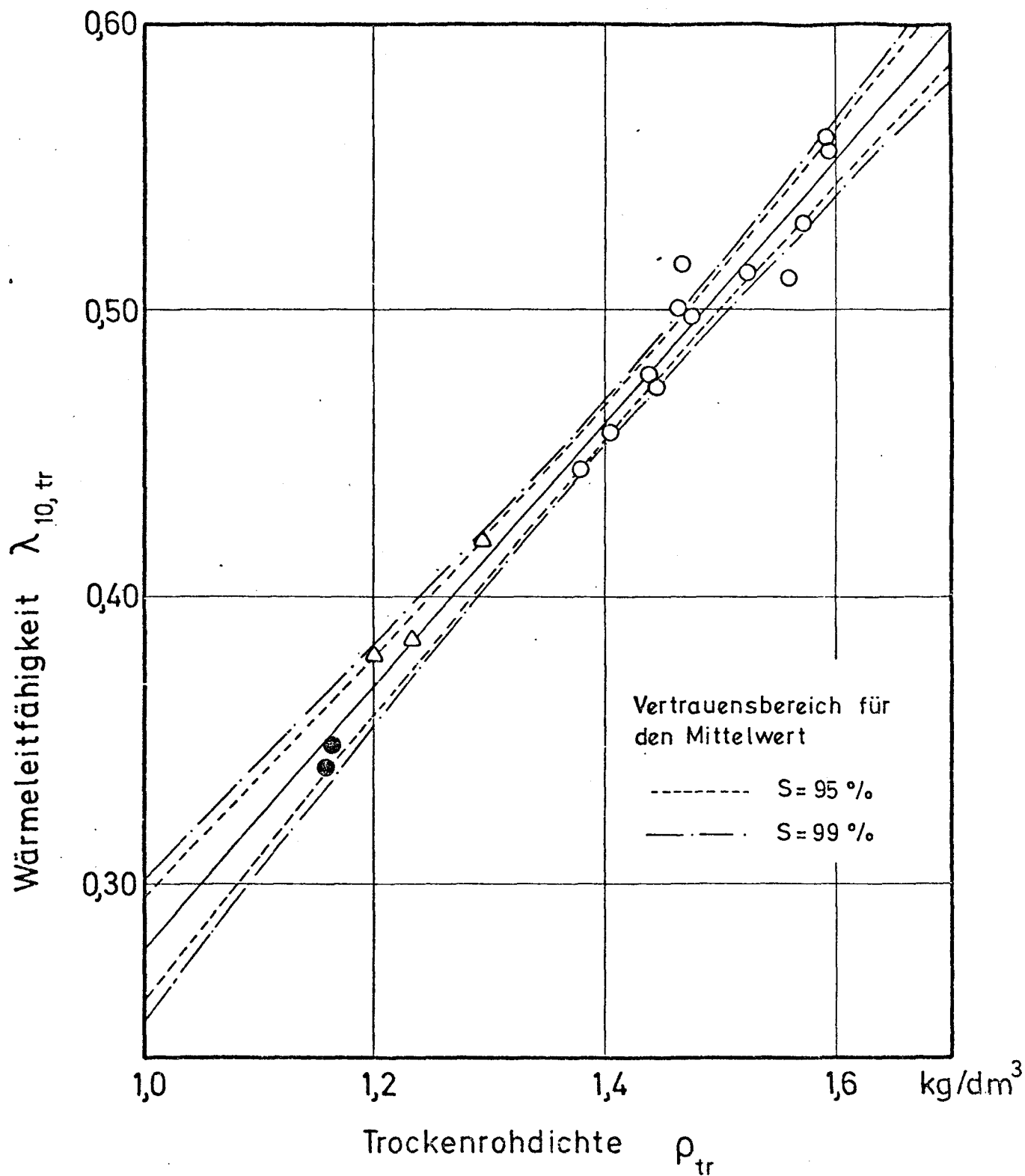
Anlage 4: Wärmeleitfähigkeit und Trockenrohdichte von  
Blähschieferbetonen, eigene und fremde Messungen

Probenbe- zeichnung	Trocken- rohdichte $\rho_{tr}$	Wärmeleit- fähigkeit $\lambda_{10,tr}$	Quelle
	$\frac{kg}{dm^3}$	$\frac{kcal}{m \cdot h \cdot ^\circ C}$	
L L 4 L 5 L 7	1,150 1,120 1,235 1,350	0,32 0,335 0,37 0,40	fremde Messungen 1972 Schüle, Kupke /2/
L L 4 L 5 L 7	1,140 1,150 1,230 1,350	0,29 0,305 0,355 0,375	fremde Messungen 1972 Cammerer, Achtziger /3/
L 30 L 50 L 60 L 80	1,050 1,155 1,270 1,360	0,28 0,32 0,365 0,40	fremde Messungen 1975 Schüle /4/
1.2.1 1.2.2	1,086 1,117	0,278 0,314	eigene Messungen 1975/76

Anmerkung: Für die Messungen /2/ und /3/ waren die Probekörper durch dieselbe Stelle (Amtliche Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen - Otto-Graf-Institut - an der Universität Stuttgart) und aus der gleichen Betonmischung hergestellt. Da die Interpretation hier im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen Wärmeleitfähigkeit und Trockenrohdichte bei unterschiedlichen Mischungen erfolgt, wurden die arithmetischen Mittel aus den entsprechenden Meßwerten beider Autoren für die statistische Analyse verwendet.

Anlage 5: Wärmeleitfähigkeit und Trockenrohdichte von Blähtonbetonen, eigene und fremde Messungen

kcal/mh °C

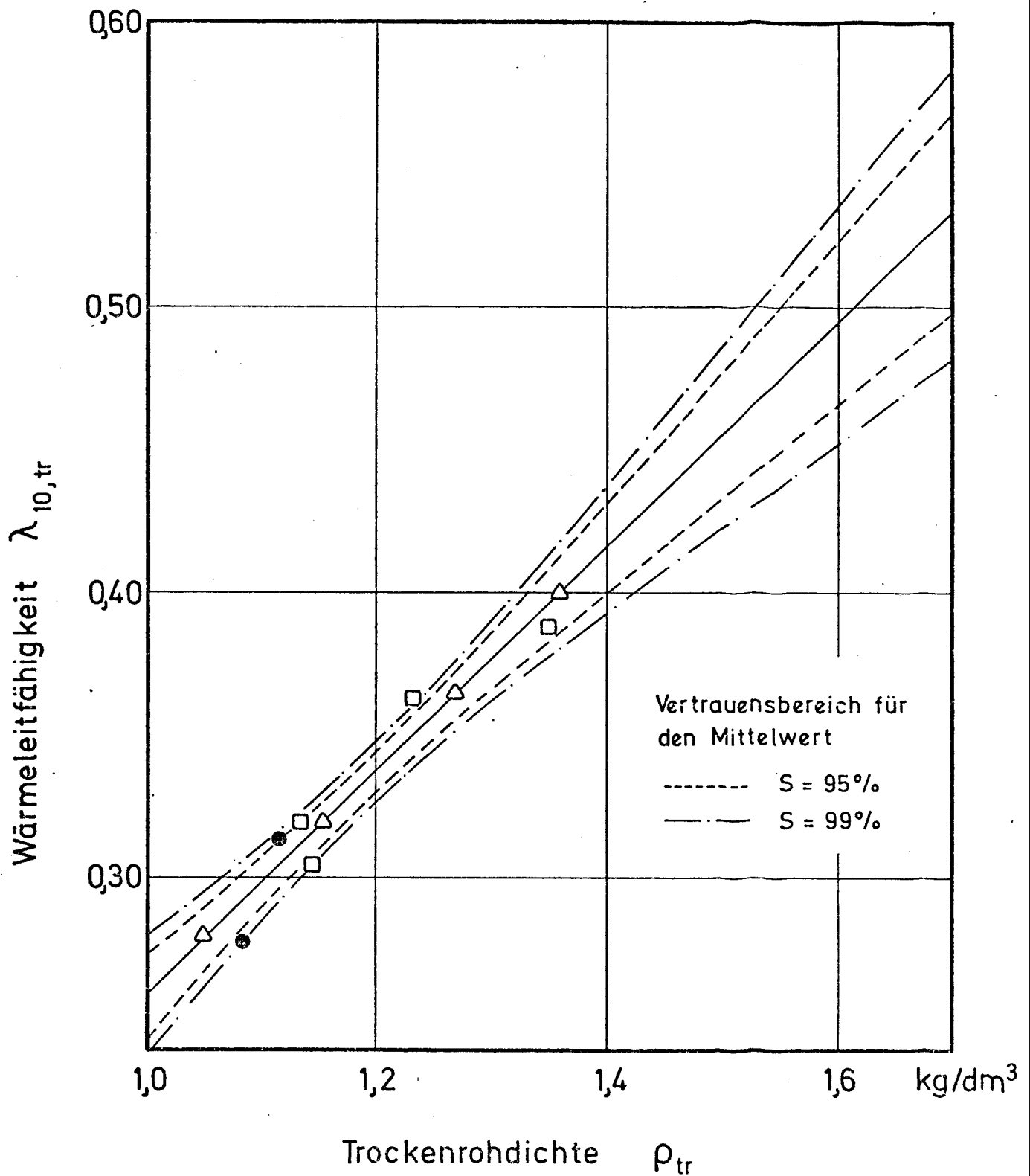


Anlage 6: Wärmeleitfähigkeit von Blähschieferbetonen in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte, eigene und fremde Messungen

- eigene Messungen 1971, Steinert /1/
- Δ fremde Messungen 1975, Schüle /4/
- eigene Messungen 1975/76



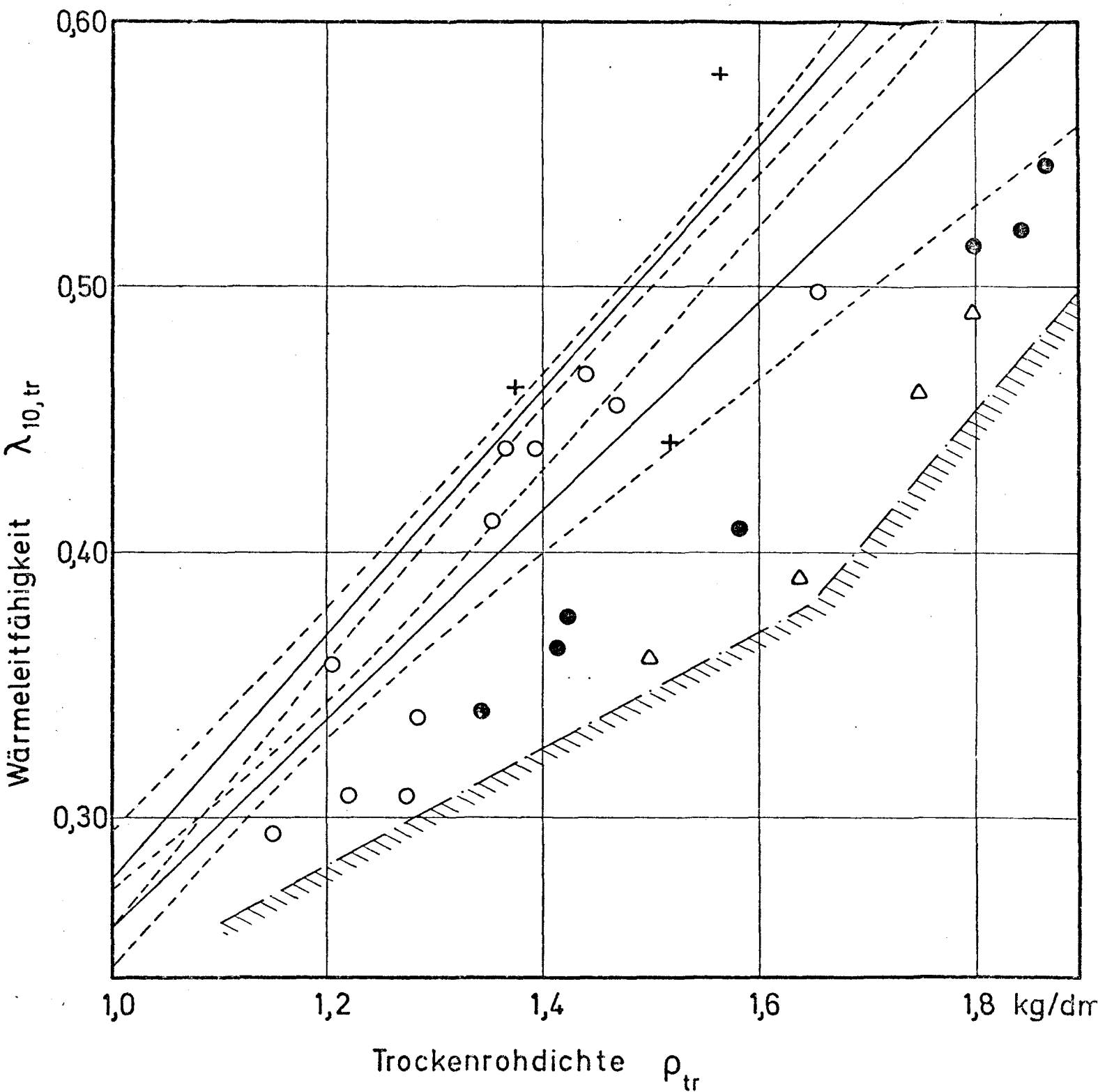
kcal/mh °C



Anlage 7: Wärmeleitfähigkeit von Blähtonbetonen in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte, eigene und fremde Messungen

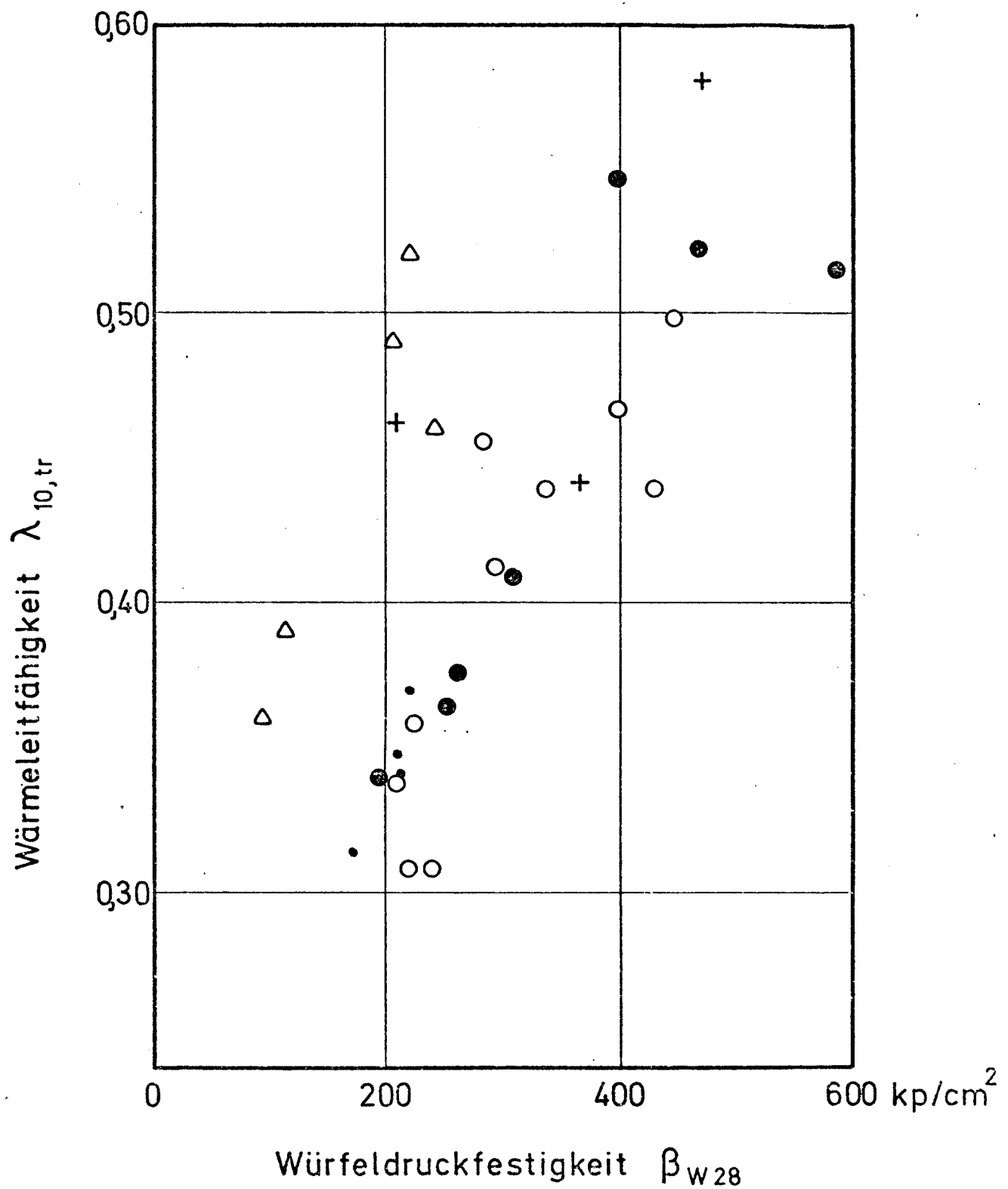
- fremde Messungen 1972, Schüle, Kupke /2/
  - fremde Messungen 1972, Cammerer, Achtziger /3/
  - △ fremde Messungen 1975, Schüle, /4/
  - eigene Messungen 1975/76
- } Mittelwerte aus beiden Messungen

$\kappa \text{ cal/mh}^\circ\text{C}$



Anlage 8: Wärmeleitfähigkeit von Leichtbetonen mit amorphen Zusatzstoffen in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte, eigene und fremde Messungen

- $\Delta$  fremde Messungen 1974, Schüle, Greulich, Giesecke /5/
- $+$  Gruppe 2.1.
- $\circ$  Gruppe 2.2.
- $\bullet$  Gruppe 3.2.
- eigene Messungen 1975/76
- untere Grenze der zur Zeit erreichbaren Wärmeleitfähigkeiten



Anlage 9:

Wärmeleitfähigkeit von Leichtbetonen in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit, eigene und fremde Messungen

- $\Delta$  fremde Messungen 1974, Schüle, Greulich, Giesecke /5/  
 • Gruppe 1.2.  
 + Gruppe 2.1.  
 ○ Gruppe 2.2.  
 ● Gruppe 3.2.
- } eigene Messungen 1975/76

12. JULI 1988

30-0232/001